1976

Turboréacteur
Turbofan engine

Snecma M53-5

Mise en service *Entry into service*	1984
Poussée sans PC *Dry thrust*	5 500 kgp *54 kN*
Poussée avec PC *Afterburning Thrust*	9 000 kgp *86.3 kN*
Consommation spécifique (en sec) *Specific consumption in dry*	0.89 kg/kgp/h
Consommation spécifique avec PC *Specific consumption with AB*	2.09 kg/kgp/h
Température entrée turbine (TET) *Turbine inlet temperature (TIT)*	1 262 °C *1 535 °K*
Débit d'air *Air flow rate*	85 kg/s *198 lb/s*
Taux de compression *Overall pressure ratio*	9.5
Taux de dilution *By-pass ratio*	0.35
Longueur *Length*	5 m 07 *16.63 ft*
Diamètre *Diameter*	1 m 05 *41.34 in*
Masse *Weight*	1 515 kg *3 340 lb*

Avions équipés avec ce moteur : Mirage 2000 C et B
Aircraft equipped with this engine: Mirage 2000 C and B

SAFRAN

La famille du turbofan M53

AMD 750 " Spectre " alias Mirage Mach III

Mirage G8A ou ACF

Une nouvelle génération de réacteurs militaires voit le jour à la fin des années 60. De type simple corps double flux, avec rechauffe sur les deux flux, le moteur M53 est capable de vol continu en altitude jusqu'à la vitesse de Mach 2,5. Avec un taux de compression de 10, le M53 n'a pas besoin d'une structure double corps, pas plus que de stators à calage variable.

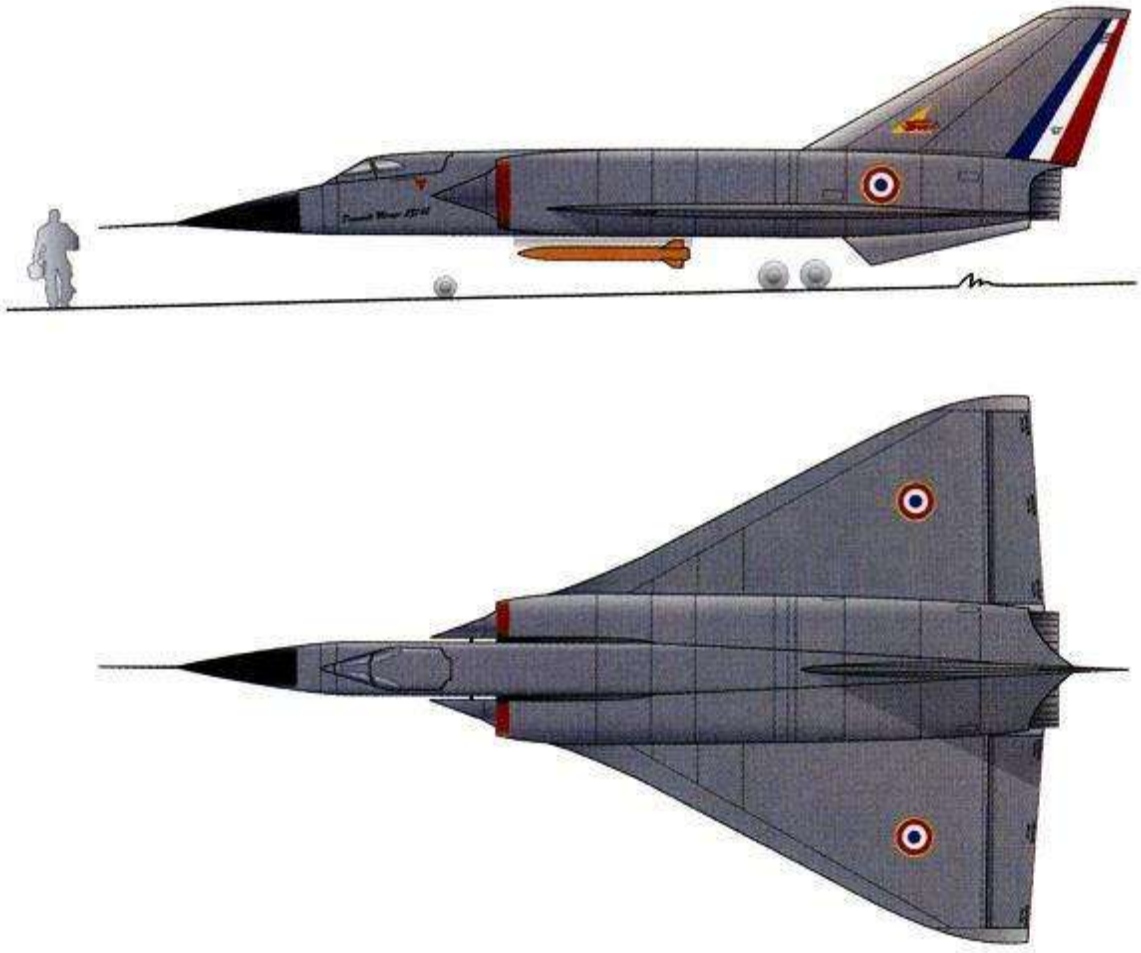
La conception du moteur est basée sur une machine ayant le même diamètre que l'Atar, mais plus court, plus léger, qui consomme moins, tout en étant plus puissant. Comme avec l'Atar, le principe est de construire le plus gros moteur qui puisse s'intégrer dans le plus petit avion possible.

M53 : les gains par rapport à l'Atar 9K50		
	M53-5	**M53-P2**
Poussée sec	+ 14 %	+ 35 %
Poussée avec PC	+ 30 %	+ 40 %
Consommation spécifique	- 13 %	- 11 %
Rapport poussée/masse	+ 44 %	+ 60 %

Ainsi est née la formule originale monocorps double flux du M53. Destiné, au départ du programme, à atteindre Mach 3,2 pour motoriser des projets de bimoteurs trisoniques, tel le LZ1-43 de Dassault, le moteur a été redimensionné pour un nombre de Mach compris entre 2,2 et 2,5 afin de remotoriser le Mirage F1 et d'équiper les Mirage à géométrie variable monomoteur et bimoteur G-4 et G-8.

Mirage 2000 C RDI

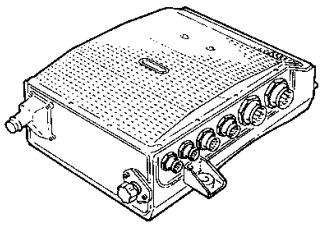
Alignement de Mirage 2000 D



Projet bimoteur M53 trisonique LZ1-43

De conception modulaire, ce réacteur double-flux simple corps comporte, d'avant en arrière, une soufflante à 3 étages qui fait office de compresseur axial BP, en raison du faible taux de dilution (0,32) ; un compresseur axial HP à 5 étages ; une chambre de combustion annulaire à prévaporisation ; une turbine à 2 étages refroidis ; un canal de réchauffe et une tuyère à section variable à pétales. Cet ensemble comporte dix modules interchangeables, ce qui permet d'alléger le support logistique. La régulation du carburant est contrôlée par calculateur électronique à pleine autorité.

La réduction du Mach a ainsi permis de passer à un moteur quasi tout titane pour constituer tout l'ensemble extérieur du moteur M53 (à l'exception de la virole d'entrée d'air réalisée en composite). Les carters de turbine et les éléments constitutifs de la partie chaude arrière du moteur étant construits en alliages base nickel et cobalt, le canal de rechauffe est en titane.



Du M53-5 au M53-P2. Lancé en 1970, le programme de développement a fait appel à dix M53-2. Le moteur s'est décliné en deux variantes opérationnelles, la version M53-5 de 5 500 kgp de poussée à sec et 9000 kgp avec rechauffe et la version à performances accrues M53-P2 de 6 500 kgp de poussée à sec et de 9 705 kgp. Extérieurement le tiret P2 se différencie par une soufflante au diamètre légèrement accru (810 mm contre 770 mm), des pales plus nombreuses et plus larges équipées de fines nageoires sur les deux premiers étages.

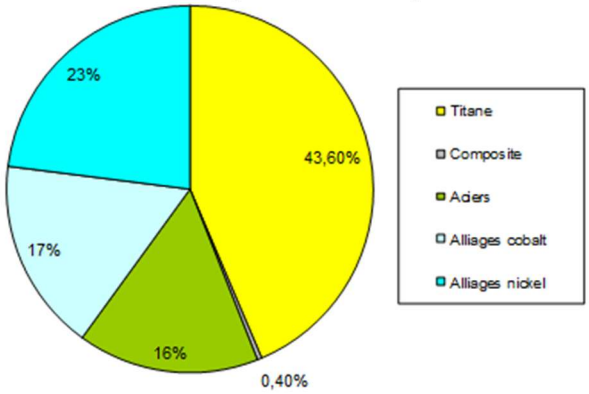
Intérieurement, le tiret P2 se distingue par la modification de deux modules : le compresseur basse pression dont le débit passe de 86 kg/s à 94 kg/s et le système de refroidissement de la turbine qui permet d'élever la température en sortie de chambre de combustion de 25 °C. A noter qu'en transsonique à basse altitude, le - P2 donne 12 tonnes de poussée contre 11 tonnes au - 5.

Mirage F1 E M53 (1974)

Mirage F1 E M53 (1974)

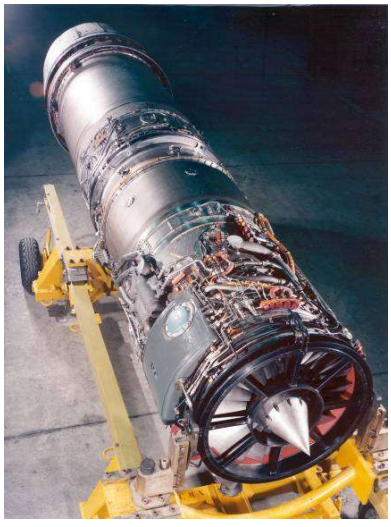
C'est le premier turbofan français équipé d'un système de régulation numérique à pleine autorité associée à des secours hydromécaniques. Tous les réacteurs M53-P2 sont identiques hormis quelques fonctionnalités. Ceux propulsant les Mirage 2000-5 grecs et -9 émiratis sont équipés d'une automanette qui permet de gérer automatiquement la vitesse de rotation du moteur, via les calculateurs des commandes de vol, de manière à maintenir la vitesse avion désirée par le pilote. Cet automatisme est actif uniquement dans le secteur moteur sec en fonction du domaine de vol. De même, la quasi-totalité des appareils sont pourvus d'un dispositif de régulation secours semi-automatique compensant la défaillance du régulateur principal de carburant pouvant conduire à une chute de régime moteur lors de vols à basse altitude.

Sur les Mirage 2000 indiens H/TH et I/TI ainsi que sur les péruviens P et DP, le système de démarrage du turboréacteur (s'étendant jusqu'à 3200 ft) a été modifié pour permettre une utilisation des avions sur terrains en altitude (jusqu'à 8400 ft voire 11.000 ft) en augmentant le régime de ralenti sol de 250 tr/mn.



Répartition des matériaux dans le M53-P2

La maintenance du turboréacteur M53 est basée sur la surveillance selon l'état, méthode qui consiste à contrôler l'évolution des altérations connues et à déceler les altérations nouvelles. Néanmoins, pour certains éléments dont la défaillance risquerait de mettre en cause la sécurité, un temps limite est conservé. Ces pièces vitales sont caractérisées, sous l'aspect tenue mécanique, par une limite de vie qui ne doit en aucun cas être dépassée. Le moteur comporte deux types de visites : une visite réacteur (VR) effectuée toutes les 165 heures de fonctionnement au premier niveau de maintenance (NTI 1) et une visite normale (VN) toutes les 600 heures au second niveau de maintenance (NTI 2).



Destiné à assurer le suivi de ces pièces vitales en tenant compte de la sévérité réelle des missions, le système calcule en temps réel l'endommagement de certaines zones de pièces du réacteur à partir de paramètres (température totale d'entrée d'air Tt2, température sortie turbine Tt7, pression sortie compresseur PS4, richesse carburant, régime de rotation du réacteur N) transmis par le calculateur de régulation. Il comptabilise et mémorise les résultats ce qui permet de connaître à tout

moment l'endommagement subi par les pièces vitales du réacteur et par conséquent le potentiel " résiduel ".

Les pièces suivies sont des pièces tournantes : disques de compresseur et de turbine HP et BP, aubes de turbine HP, labyrinthes amonts du compresseur HP et de la turbine HP.

Equipant la plupart des Mirage 2000 en service, la fonction endommagement est intégrée dans le calculateur de régulation sur les moteurs grecs.

Les exigences de polyvalence du Mirage 2000 ont conduit à une des caractéristiques les plus originales du M53 P2 : le détendeur à section variable du flux secondaire (alias DSV), qui fait du M53 le premier moteur militaire à cycle variable jamais mis en service.

Ce dispositif permet d'introduire une variabilité du taux de dilution. Fermé, il augmente la poussée spécifique du moteur au régime maximum, en particulier en régime supersonique. Ouvert, il favorise une optimisation de la consommation spécifique à régimes partiels de croisière basse altitude ou d'attente.

Mirage G4 Ragel. Dans la seconde moitié des années 1960, le constructeur aéronautique français Dassault a étudié quatre projets d'avions à géométrie variable dont le Mirage G4, un biréacteur équipé de Snecma Atar 9K50, qu'elle destine à des missions de reconnaissance, d'attaque, de guerre électronique lointaine (programme RAGEL).

En 1968, 2 prototypes du Mirage G4 sont commandés. Une commande de 60 exemplaires, destinés à la frappe nucléaire, est envisagée. Les appareils seront limités à Mach 2.2, mais doivent pouvoir évoluer à Mach 2.5 une fois équipés des futurs moteurs M53 de 8,5 tonnes de poussée.

Alors que la conception est bien avancée, les études budgétaires montrent que le coût du programme sera trop important au vu des 60 exemplaires prévus. Ceci entraîne l'abandon du projet, fin 1968.

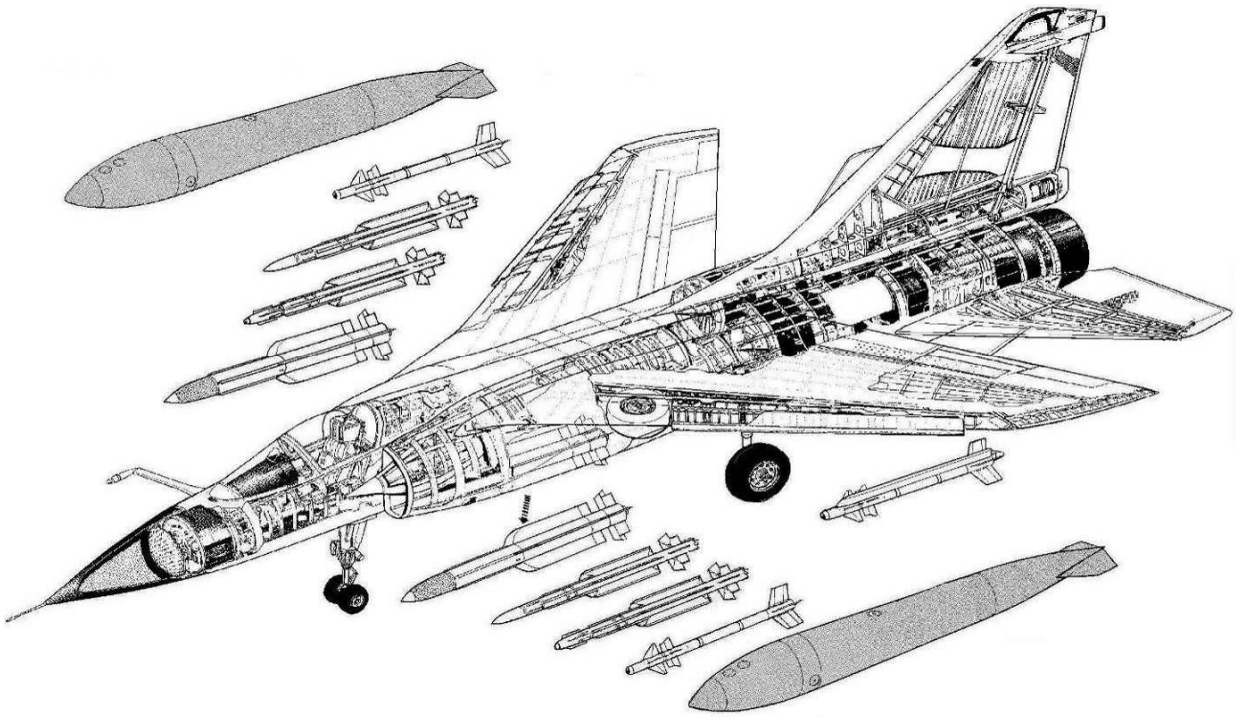
Les deux appareils étant encore en cours de production ils sont alors rebaptisés Mirage G-8 : le G4-01 devient le G8-01 biplace et le G4-02 devient le G8-02 monoplace.

Le projet du Mirage G4 Ragel bi-M53 imaginé avec des couleurs opérationnelles

Le Mirage G8A ou "Super Mirage". Suite aux contraintes budgétaires affectant le programme du biréacteur à voilure variable G8 et du surcout d'une cellule d'avion à géométrie variable estimé à 15 à 20% par rapport à un avion à voilure fixe, le Mirage G8 évolue vers un avion à voilure fixe en titane : l'ACF (Avion de Combat Futur) ou Mirage G8A. Baptisé également Super Mirage la préférence se portant sur une voilure fixe de 55° de flèche au bord d'attaque. En juin 1972, l'état-major de l'armée de l'Air diffuse sa fiche programme pour un bi M53, monoplace pour la défense aérienne et biplace pour la pénétration à basse altitude, de la classe des 20 tonnes. L'objectif est de produire un total de 100 avions des deux types.

De la classe du biréacteur F-15 "Eagle", les performances suivantes sont demandées : rayon d'action à basse altitude de l'ordre de 1 000 km avec bidons et en supériorité aérienne, évolutions entre Mach 2,45 et Mach 3 ascension à 40.000 ft (12.200 m) en 2 minutes et plafond supérieur à 50.000 ft (15.000 m).

En décembre 1973 un prototype monoplace est commandé en vue d'un premier vol 32 mois ouvrables plus tard mais, en juillet 1975, le programme étant financièrement hors de portée du pays il est abandonné en décembre de la même année, alors que la cellule est achevée et que l'aménagement du prototype commence.



Ecorché du Mirage G8A - alias ACF

Le "Mirage" F1 M53. Conçu à l'origine pour équiper le biréacteur de combat ACF "Super Mirage", le moteur résulte d'une longue gestation pour propulser finalement le monomoteur Mirage 2000. Le premier M53, dans sa variante -2 de 5 000 kgp en plein gaz sec et 8 500 kgp avec PC, a tourné au banc en février 1970. D'abord essayé en vol, dans un domaine limité, avec et sans rechauffe, dans la nacelle droite de la Caravelle III n° 193 en juillet 1973 (230 heures de vol) ce moteur étend considérablement son domaine sur " Mirage " F1 E "Europe" (590 heures de vol) qu'il équipe pour son premier vol le 22 décembre 1974. Dessiné et réalisé en 21 mois afin de participer au "marché du siècle" pour l'équipement de plusieurs forces aériennes de l'OTAN, l'appareil, encore appelé "Mirage" F1 M53, effectuera un total de 118 vols d'essais avec l'avionneur jusqu'en juillet 1977. Mach 1,3 sera atteint lors du premier vol et mach 2 lors du 5ème vol, à 40.000 ft.

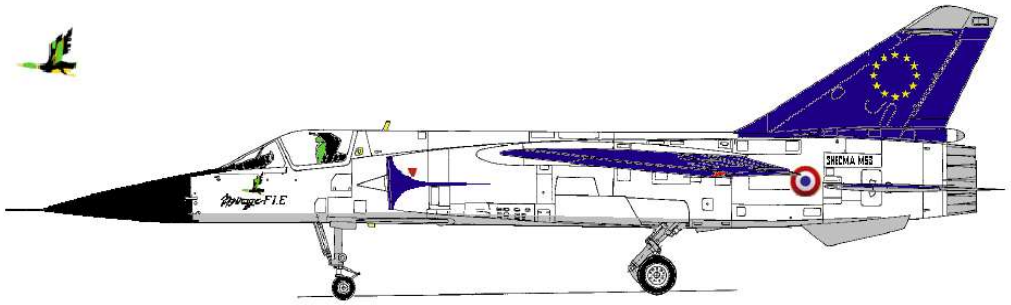
Mirage 2000-5F

Mirage 2000-9

Désigné originellement Mirage F1 E, le Mirage F1 M53 dérive directement du Mirage F1 9 K50 dont il conserve la définition aérodynamique. Il s'en différencie essentiellement un fuselage plus de long de 23 cm, une masse à vide accrue de 8% et par son réacteur ainsi que par son fuselage dont les entrées d'air et la partie arrière sont adaptées au nouveau réacteur.

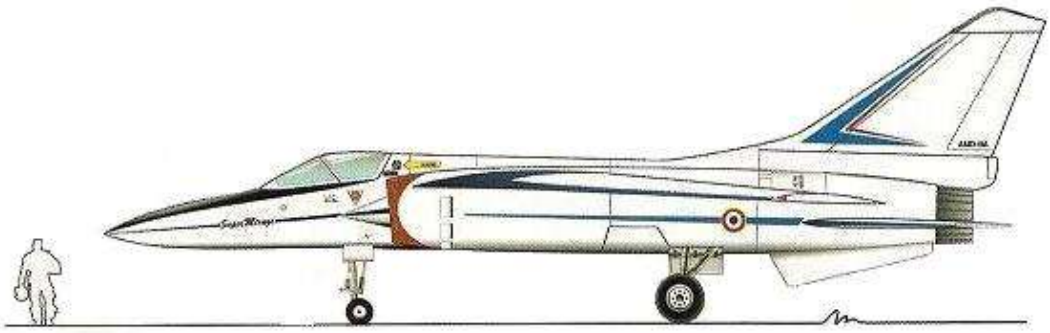
A l'arrière, il reçoit, dans un tunnel de même section, le réacteur M53, de longueur moindre et plus léger que l'Atar 9K50. A l'avant, le fuselage est donc prolongé pour des raisons de centrage ; les entrées d'air et les manches d'alimentation qui leur font suite voient leur section augmentée de façon à absorber le débit d'air plus important du nouveau réacteur. Les cônes d'entrée d'air sont également modifiés, tant dans leur forme que dans leur mécanisme de mouvement en fonction du Mach de vol.

Aux cours de ses essais, le F1 M53 démontre des performances améliorées par rapport au Mirage F1 d'origine avec une vitesse maximale Mach 2 – 2.5 au lieu de > Mach 2. Et un plafond 24.000 mètres au lieu de 20.000 mètres. Si le rayon d'action est légèrement augmenté, les caractéristiques d'interception et de combat sont nettement supérieures à celles de son prédécesseur : montée à Mach 1.8 à 40.000 ft (12.190 mètres) en 5 minutes et 20 secondes au lieu de 8 minutes.



Mirage F1 E-01 (M53)

Le Mirage F1 E-01 faillit achever sa carrière de banc d'essais hautes vitesses du M53-2, en décembre 1979, lors de son 305ème vol. Suite à une extinction moteur consécutive à un décrochage compresseur et à l'impossibilité de rallumer le M53, l'avion du se poser turbine coupée sur la piste d'Istres. Après plus de cinq années consacrées à la mise au point du turbofan, le prototype a fini ses jours à l'école technique de Latresne, près de Bordeaux, au printemps 1988.



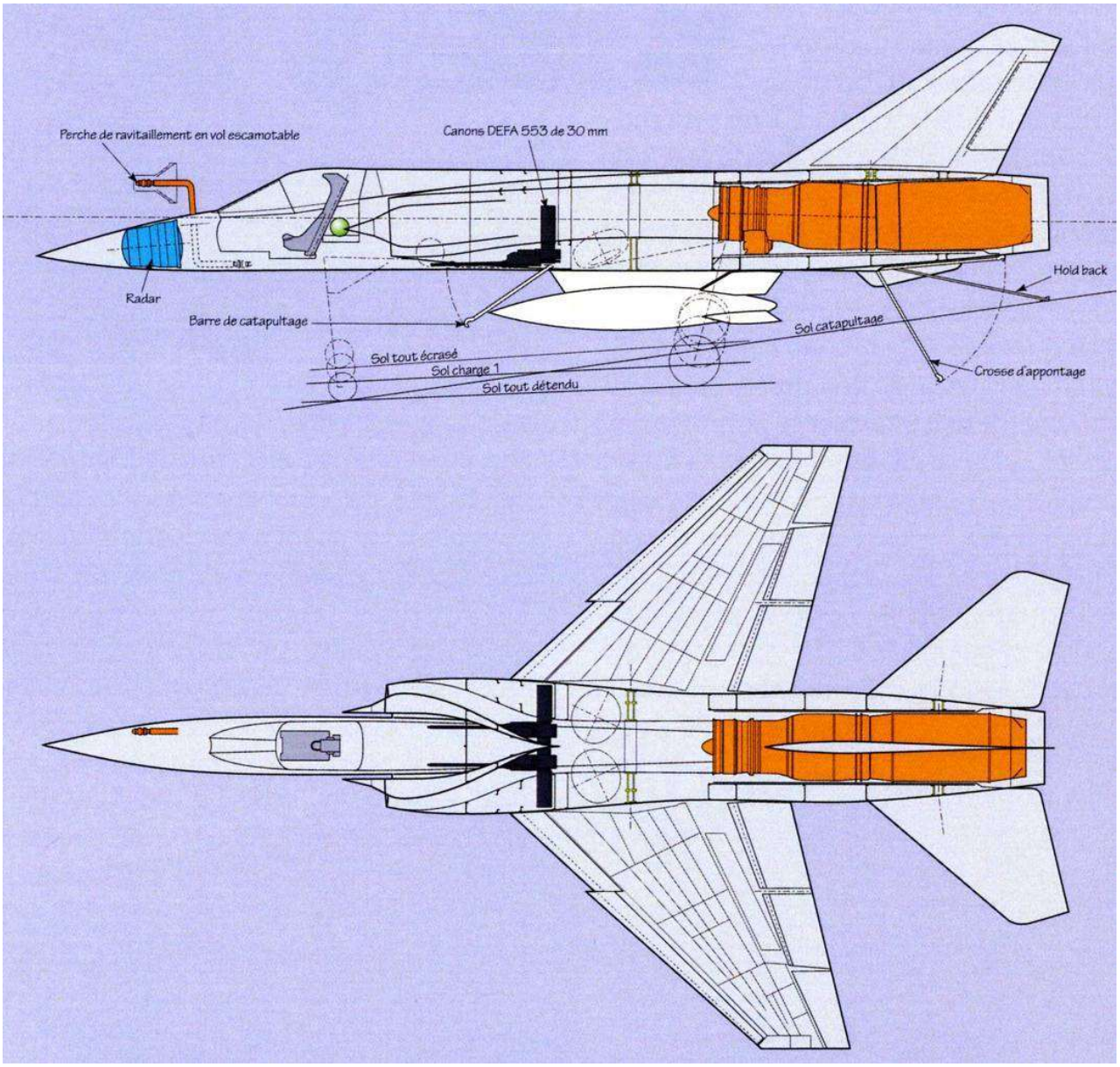
Mirage G8A alias ACF "Super Mirage"

Variante sans rechauffe. Dans le cadre des projets d'avions de pénétration et d'attaque au sol, le motoriste étudia, au début des années 1970, une version sans postcombustion du M53 baptisée M53-2X, dans la gamme des 5 à 6 tonnes de poussée. A l'époque, cette variante répondait à une version navalisée du Mirage F1 proposée à l'Aéronautique Navale (Mirage F1 M), pour remplacer à la fois les Etendard IV et les F8E (FN) " Crusader ", et à un programme d'avion d'attaque au sol brésilien transsonique (AX) élaboré par Embraer.

Le motoriste proposa une version sans rechauffe du M53 : le M53-2X taré à 6120 kgp. Les raisons principales de cette sélection étaient :

- une disponibilité quasi-immédiate du moteur,
- un fort rapport de poussée/masse et poussée/surface frontale,
- une faible chute de poussée au décollage par temps chaud,
- une simplicité de conception et modularité d'où facilité de maintenance.

Le projet de navalisation du Mirage F1 n'aboutira pas en raison de la vitesse d'approche trop élevée (265 km/h au lieu de 230 km/h) et du surcroit de masse (400 kg).



Mirage F1 M

Le premier vol du turbofan sur "Mirage" 2000-01 a lieu le 10 mars 1978 au cours duquel l'avion atteint Mach 1,02 à 40.000 pieds et conférait pour la première fois à un chasseur français opérationnel, un rapport poussée/poids supérieur à l'unité. Parmi les problèmes décelés aux cours des premiers essais en vol du prototype, l'un concerne le réacteur dont la marge au pompage du compresseur se manifeste par une détonation plus ou moins violente selon l'altitude et provoque une perte quasi-totale de la poussée ; il est nécessaire de couper le moteur, puis de la rallumer pour retrouver un fonctionnement normal. Pour un avion monomoteur, c'est un inconvénient de taille.

Le phénomène apparaissait lorsque l'avion pratique de fortes incidences, avec le moteur plein gaz, après avoir volé de façon prolongée à fort nombre de Mach.

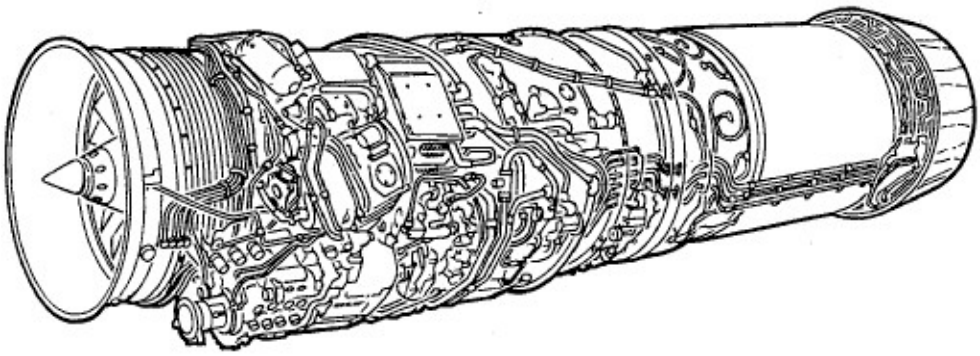
Sur les 7 prototypes construits, le Mirage 2000-01 effectuera le plus grand nombre de vols d'essais (1202), d'heures de vol (1149 h 03) et sera le seul à tester les trois versions du propulseur (-2, -5 et –P2).

Le moteur tête de série, M53-5, a été livré en 1982. Cette version équipera les premiers avions de série après avoir reçu certaines modifications mises au point au cours des essais. Il s'agit d'une

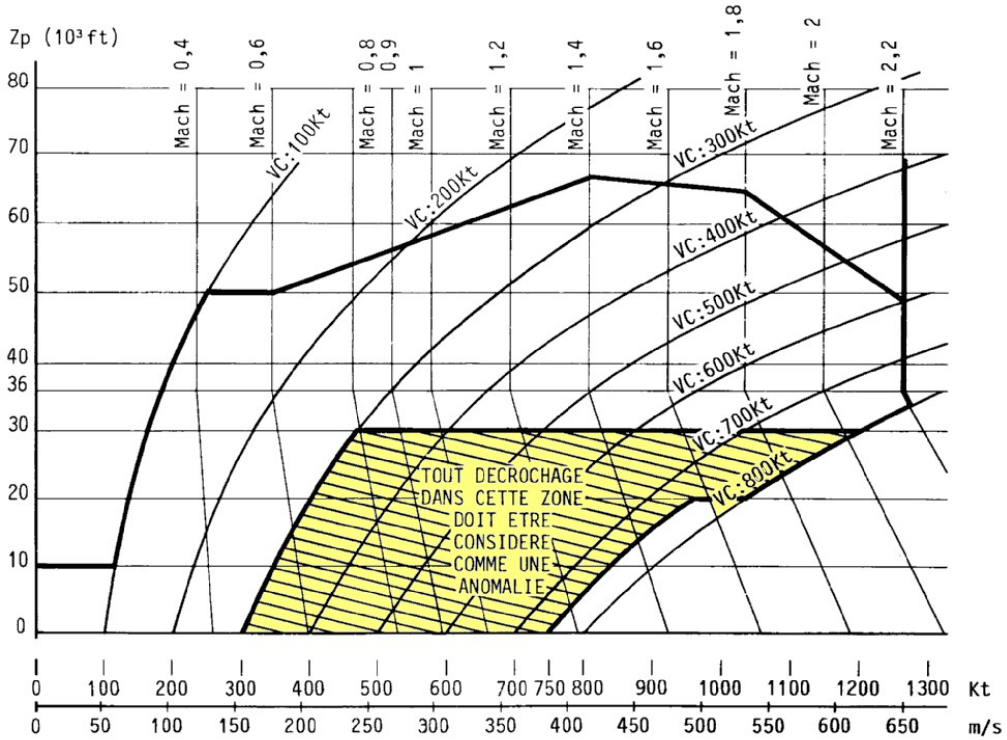
adaptation des réglages du moteur à haute altitude et basse vitesse et pendant les changements rapides de régime ; du renforcement structural du compresseur et d'autres modifications mineures. Livré à la mi 1985, la version M53-P2 est le premier moteur militaire français équipé d'un calculateur de potentiel pour mesurer l'endommagement réel des pièces et à avoir, parmi ses équipements de maintenance au sol, un micro ordinateur. De conception modulaire, le propulseur comporte 12 modules entièrement interchangeables, sans équilibrage, sans réglage et sans altération des performances. Ils sont maintenus selon l'état. L'indice de maintenance du réacteur est de 6 heures de main d'œuvre par heure de fonctionnement moteur (HMO/HDFM). La dépose et la repose du réacteur s'effectuent en moins de 90 minutes avec une équipe de 4 personnes.

Du fait de son mode d'avionnage sur "Mirage" 2000, le M53 est du type " moteur cassé " de façon à le faire entrer par l'arrière du fuselage (réacteur "suppositoire") dans le plus petit cylindre possible, compte tenu de la disposition des accessoires. Comme sur la famille Atar 9, le canal de post combustion et la tuyère ne sont pas exactement sur le même axe.

En service opérationnel dans 9 armées de l'air réparties sur quatre continents, la lignée des turboréacteurs M53-5 et M53-P2 comptabilise à ce jour plus de 2 166 000 heures de vol. Utilisé dans des environnements variés allant du désert à la forêt tropicale, en passant par des régions polaires ou de haute altitude, mis en oeuvre dans le cadre de nombreux exercices internationaux et engagé sur différents théâtres d'opérations, le Mirage 2000 est une référence mondiale en termes de disponibilité et de maintenance. Un Mirage 2000 effectue une moyenne de 300 heures de vol par an, chaque heure de vol du monoréacteur delta nécessite huit à neuf heures d'entretien.



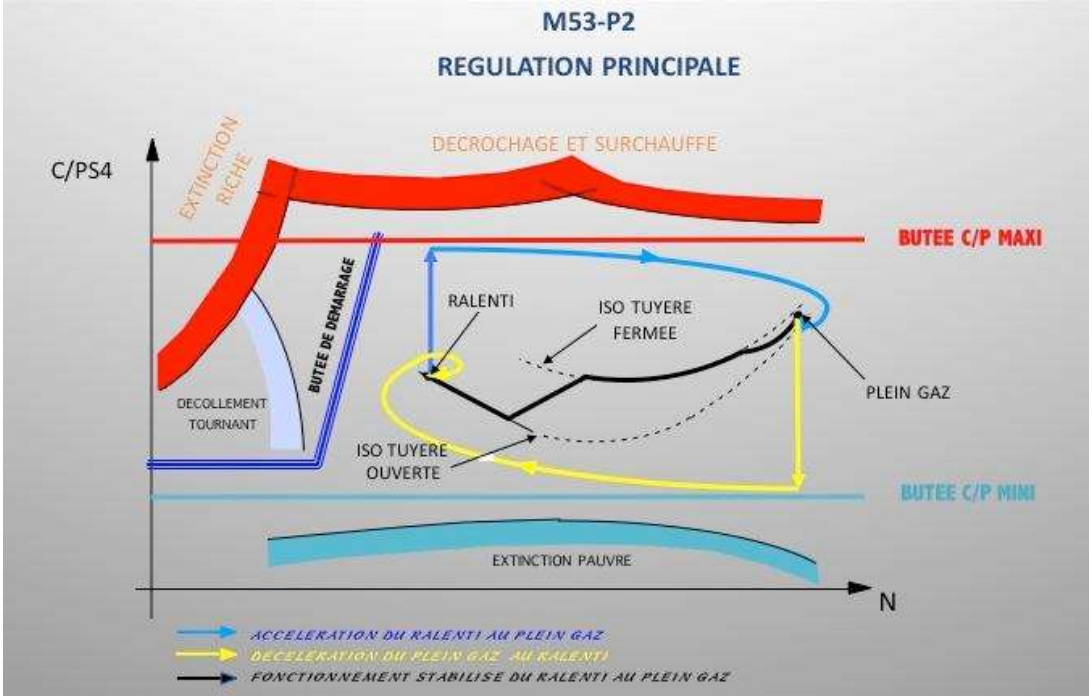
Turbofan M53-P2, côté gauche



Domaine de vol du turboréacteur M53-P2

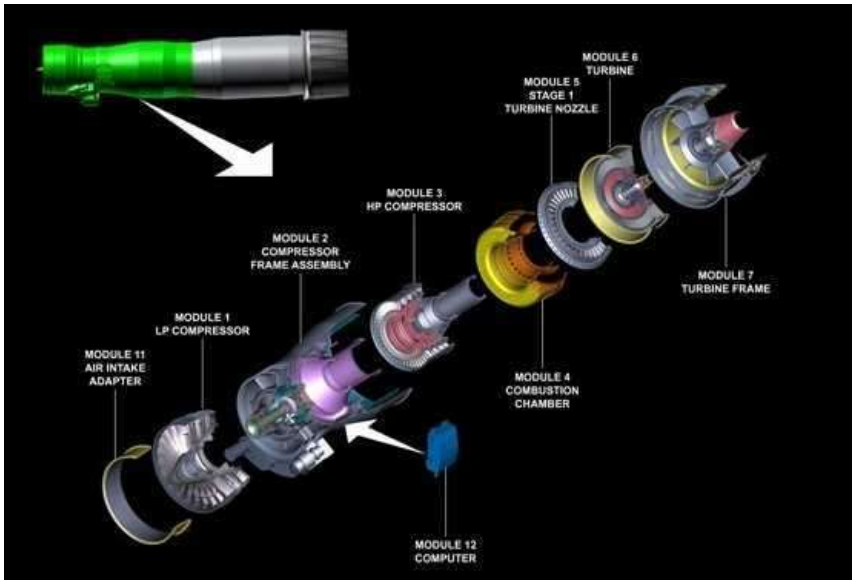
Sur les 744 moteurs produits au total dont 115 du type tiret -5 (entre 1982 et 1985), 659 exemplaires actuellement en service équipent les 601 Mirage 2000 construits jusqu'au mois de novembre 2007. Seules les premières versions du Mirage 2000 sont équipées du réacteur M53-5 : Mirage 2000 C du n°1 au n° 37 et les Mirage 2000 B du n°501 au n° 522.

A la fin de l'année 2009, 533 appareils étaient encore en service.



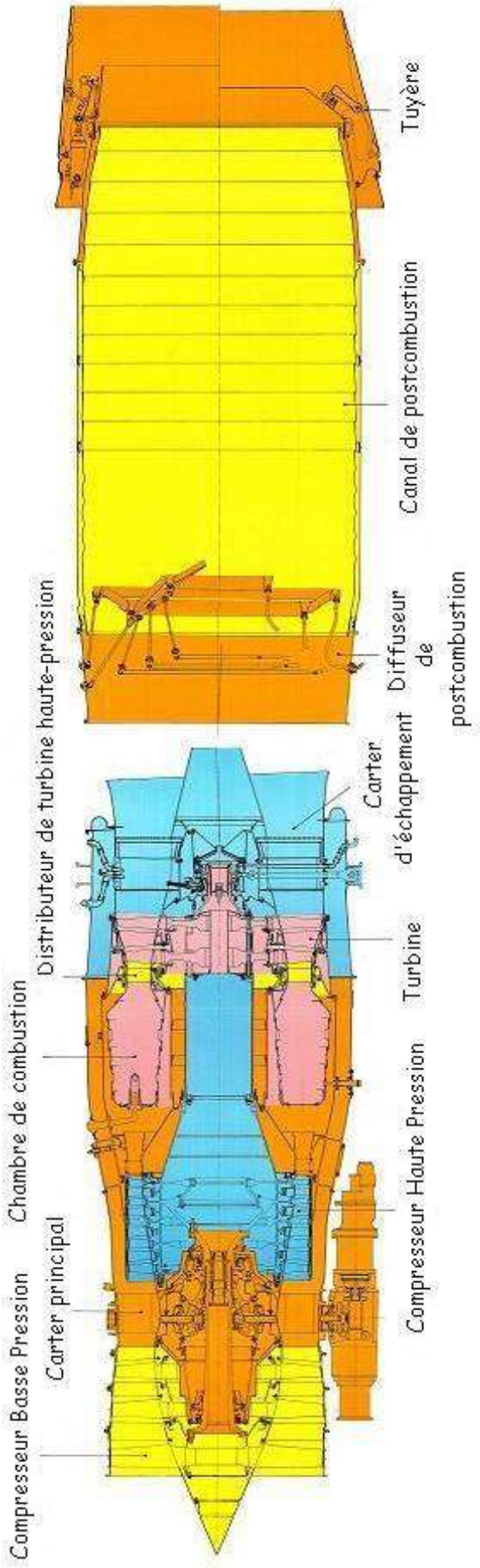
Au début de la décennie 90, le moteur connaît des crises endémiques avec notamment son plus sérieux embarras : la rupture d'aubes de la turbine haute pression lors de missions à basse altitude. Le problème a été résolu en changeant le matériau des aubes - l'inconel 100 cédant la place au DS200, un alliage sans joint de grains – et en détarant la poussée du moteur. La contrepartie de cette modification était une perte de discrétion du moteur avec l'émission de fumée noire.

En 2008, la disponibilité opérationnelle des Mirage 2000 de l'Armée de l'air française a atteint son plus faible niveau historique (50 %) du, en grande partie, au propulseur. " Véritable horlogerie ", le réacteur M53 souffre aujourd'hui de l'usure de certains composants (le calculateur numérique) et d'un stock de rechanges dimensionné au plus juste.


MODULE 6 TURBINE
MODULE 5 STAGE 1 TURBINE NOZZLE
MODULE 3 HP COMPRESSOR
MODULE 2 COMPRESSOR FRAME ASSEMBLY
MODULE 7 TURBINE FRAME
MODULE 1 LP COMPRESSOR
MODULE 11 AIR INTAKE ADAPTER
MODULE 4 COMBUSTION CHAMBER
MODULE 12 COMPUTER

Décomposition modulaire de la partie réacteur sec

Jusqu'à son retrait du service en décembre 2013, la flotte des M53-5 a accompli 279 009 heures de fonctionnement. L'utilisation opérationnelle du turbofan est prévue jusqu'en 2030, voire au-delà.



Découpage modulaire du M53-5.

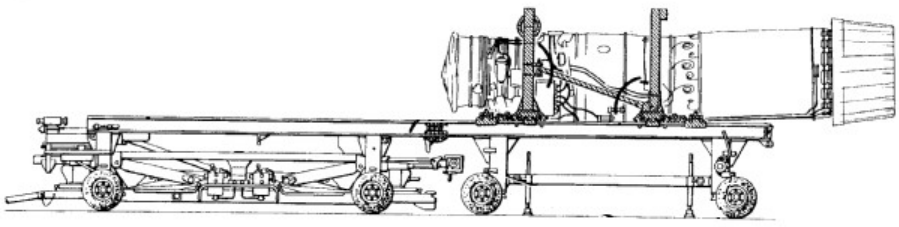
Ecorché du réacteur M53-P2

Recul réacteur

Lancé en 1968, le M53 a permis de valider plusieurs avancées technologiques : la conception et la fabrication des aubes de turbine refroidies à canaux travaillant à 1165°C (1400°K), l'installation d'une régulation numérique pleine autorité, la mise au point d'un compresseur qui autorise sans restriction l'utilisation du moteur dans les domaines de vol marginaux, très faible vitesse, très grands angles d'attaques, que permettent les commandes de vol électriques de l'avion.

Pour illustrer ces performances, le Mirage 2000 peut effectuer une " cloche ", une figure que bien peu d'avions d'armes peuvent réaliser. La manœuvre consiste à tirer le manche en arrière pour avoir une pente de 75 degrés. La manette des gaz est ramenée à 70 % du régime et la vitesse chute, alors que le nez monte rapidement au-dessus de l'horizon. Le badin du Mirage 2000 est en fait déjà à vitesse quasiment nulle. Malgré une alimentation en air très perturbée, le réacteur conserve un comportement nominal. Même à des vitesses aussi lentes, l'appareil reste parfaitement contrôlable malgré ces manœuvres violentes.

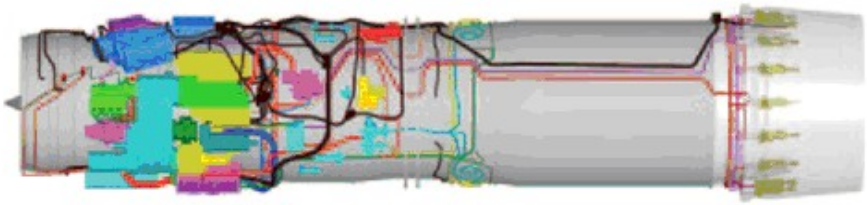
Caractéristiques techniques	**M53-2**	**M53-5**	**M53-P2**
Taux de dilution	0,4	0,35	0,36
Taux de compression	8,5	9,5	9,8
Débit d'air	84 kg/s	85 kg/s	94 kg/s
Poussée maximale au point fixe avec PC	8 500 kgp	9 000 kgp	9 700 kgp
Poussée maximale à Mach 2 ,2 à 36 000 pieds		> 10 000 kgp	10 300 kgp
Poussée maximale à Mach 1,2 au niveau de la mer		> 11 700 kgp	11 700 kgp
Poussée intermédiaire sans PC	5 500 kgp	5 500 kgp	6 500 kgp
Consommation spécifique avec PC	2,09 kg/kgp/h	2,09 kg/kgp/h	2,05 kg/kgp/h
Consommation spécifique sans PC	0,89 kg/ kgp/ h	0,89 kg/ kgp/ h	0,87 kg/ kgp/ h
TET (Température Entrée Turbine)	1 508 °K (1 235°C)	1 535 °K (1 262°C)	1 560 °K (1 287°C)
Longueur avec tuyère	4 853 mm	5 070 mm	5 070 mm
Diamètre gabarit hors-tout	1 055 mm	1 055 mm	1 055 mm
Temps d'autorotation turbine		> 20 secondes	> 18 secondes
Masse totale	1 517 kg	1 511 kg	1 470 kg
Facteur de charge admissible : plus ou moins 11g			



Chariot de dépose/pose réacteur

Projets. Dans le cadre de la rénovation à mi-vie du turbofan, le motoriste a étudié et proposé, au début des années 2000, deux variantes : le M53-PX2 et le M53-PX3.

Le M53-PX2 a été étudié afin d'accroître la durée de vie des parties chaudes du moteur et de baisser son coût de possession. Contrairement à la conception originelle du moteur, privilégiant les hautes vitesses supersoniques, cette variante a été optimisée pour le vol tactique. Le M53-PX2 apporte un gain de consommation carburant de l'ordre de 2 à 3%, une réduction de sa signature infrarouge et un refroidissement amélioré des aubes de turbines.



Le projet M53-PX3

Snecma a également envisagé une variante plus puissante de 6% au décollage reprenant une partie des technologies développées pour le M88-2. Désigné M53-PX3, cette évolution est dotée d'un système de régulation électronique pleine autorité redondante (Fadec) et de turbines améliorées. Trois objectifs ont été poursuivis : une meilleure accélération du régime moteur, une diminution de la consommation carburant et une simplification des circuits secours.

Mirage 2000 C RDI, 5-OM n° 45 EC 2/5 " Ile de France "

Engagements. Au sein de l'armée de l'Air, le Mirage 2000 a été envoyé sur les théâtres d'opérations en Irak (1990-1991), Bosnie (1992-1995), Kosovo (1999), en Afghanistan (2001 – 2012). Le monoréacteur delta a également démontré son efficacité lors de l'opération "Harmattan", sur la Libye, en 2011, en cumulant plus de 9 420 heures de vol en sept mois et au-dessus du Mali, en janvier 2013, lors de l'opération "Serval".

Pendant la Guerre du Golfe, douze Mirage 2000 C RDI de la 5ème escadre de chasse d'Orange ont été déployés à partir d'octobre 1990, dans le cadre de missions de supériorité aérienne puis ont pris part à l'opération "Alysse". Protagoniste de la guerre du golfe en 1991, le Mirage 2000 C y a réalisé 1 416 heures de vol et 508 missions de guerre, affichant une disponibilité record de 98%. Lors de la Guerre de Bosnie en 1995, un Mirage 2000 N K2 de l'Escadron de chasse 2/3 "Champagne" a été abattu par un missile serbe en août 1995 après avoir bombardé un objectif dans la région de Pale durant la campagne de bombardement de la Bosnie-Herzégovine par l'OTAN. Le pilote et son navigateur ont été libérés quatre mois plus tard.

Tout juste entré en service, le Mirage 2000 D a été envoyé au combat en 1994 dans le cadre de l'opération "Crécerelle" au-dessus de la Bosnie-Herzégovine. Depuis cette époque, le chasseur bombardier a participé à tous les déploiements depuis la République du Congo ("Artémis"), en 2002, jusqu'à la Lybie, "Harmattan" en 2011, en passant par l'Afghanistan " Herakles " (2002-2012), le Tchad, le Mali "Serval" (2013-2014) puis "Barkhane", l'Irak "Chammal" (2014 - 2016) et le Kosovo "Trident" (1999).

Crécerelle

Trident

Artémis

Hérakles

Serval

Au Kosovo, au cours de l'opération " Trident " qui dura du mois de février au mois de juin, le monoréacteur delta mena 851 missions d'attaque. L'utilisation des appareils fut intensive, chaque avion volant en moyenne 121 heures par mois au lieu des 20 heures de vol en temps de paix. Considéré comme très efficace au combat, le chasseur bombardier est presqu'aussi agile que la variante défense aérienne : sa taille réduite ainsi que sa faible surface équivalente radar le rendent très difficile à localiser. Même si l'appareil ne déborde pas de puissance, il est remarquablement fiable et permet au-début des années 2000 de très longs vols (6 heures) au-dessus des contreforts de la chaine himalayenne, hors de portée de tout secours en cas de panne.

Un seul Mirage 2000 D a été perdu au combat en Afghanistan, en mai 2011, du fait d'une avarie imputable au moteur.

Aujourd'hui, les plus anciens Mirage 2000 C RDI en service sur la base d'Orange-Caritat qui tutoient les 5 000 heures de vol environ tirent leur révérence en 2022 (depuis 2018 se pose le problème de l'obsolescence programmée du missile Magic II). Au fil des ans le parc des monoplaces et des biplaces a subi une forte déflation et à la mi 2015, il ne restait plus que 15 monoplace et 7 biplaces.

Les Mirage 2000-5F dont le potentiel peut être amené à au moins 9 000 heures de vol sera mis à la retraite au-delà de 2028, un tiers de la flotte aura alors plus de quarante ans de service. En 2018, les Mirage 2000 N ont été remplacés par des Rafale B : ils avaient, à cette date, rempli leurs missions de dissuasion nucléaire au service de la France pendant la durée remarquable de trente années de service.

Le Mirage 2000 D sera le dernier Mirage en service en France. A la mi-2015, l'armée de l'Air possédait 71 appareils en parc dont 63 en ligne. Prévu d'être rénové à mi-vie en 2019, il restera opérationnel au-delà de 2030.

Mirage 2000 D au décollage. Le faible rayonnement thermique du réacteur M-53 P2 est tel que la structure et en particulier les réservoirs structuraux de carburant, qui sont disposés de part et d'autre de la chambre réacteur jusqu'au cadre 31, ne sont pas protégés thermiquement.

Dans la force aérienne grecque, au mois d'octobre 1996, un Mirage 2000 grec abat un F-16 turc. Suite à une violation de l'espace aérien grec, les Mirage 2000 EG envoyés pour intercepter les intrus sont engagés en combat tournoyant par des F-16 turcs. L'un des Mirage tire alors un missile Magic, atteignant un F-16D (biplace) qui s'écrase en mer. Un des pilotes du F-16 est mort, l'autre a pu s'éjecter et a été secouru par un hélicoptère grec.

Durant le conflit de Kargil (1999), les Mirage 2000 "Vajra" H et TH indiens, d'abord utilisés pour des missions de supériorité aérienne, ont ensuite été modifiés localement afin de pouvoir effectuer des missions d'attaque au sol (qu'ils sont les seuls à pouvoir mener à ces altitudes). Au total, ces avions effectueront plus de 500 missions et largueront plus de 55 tonnes de bombes pendant ce conflit.

Mirage 2000 EI, Taiwan

Endurance et convoyage. Les Mirage 2000 de l'Armée de l'air française ont régulièrement démontré leur aptitude aux vols longs dans des opérations extérieures à plus de 6000 km de la métropole. La seule limite est le niveau d'huile (12 litres) du propulseur : dix heures pour le monoréacteur delta. La consommation d'huile maximale est comprise entre 0,25 et 1 litre/heure.

Dans les années 1990, lors d'un vol de convoyage vers Singapour, un Mirage 2000 D a réalisé un vol de 9 h 00.

Dans le cadre des exercices Marathon des Forces Aériennes Stratégiques (FAS), les Mirage 2000 N effectuent régulièrement des raids (aller/retour) de 9 h 30 vers une île située au centre de l'océan Atlantique. Au cours de l'opération "Harmattan", en mars 2011, au-dessus de la Libye, le Mirage 2000 D a également démontré sa capacité de projection avec un vol de 6 h 40 depuis Nancy.

Le " Mirage " 4000. Parallèlement à la conception du Mirage 2000, Dassault étudia dès septembre 1976 un concept biréacteur basé sur le réacteur M53, dont le retour à l'aile delta et les commandes de vol électriques.

Baptisé Super Mirage 4000, le nouvel avion, construit en matériaux composites, possédait des plans canards ajustables en vol, une dérive en fibre de carbone contenant du carburant (675 litres) et était nettement plus grand et plus lourd que le 2000. D'abord destiné à la supériorité aérienne, à la pénétration basse altitude et à la frappe nucléaire, il se posait en concurrent du F-15 Eagle par ses performances, sa manœuvrabilité, ses dimensions et son poids (il appartenait à la classe des 20 tonnes).

Dès son premier vol, le 9 mars 1979, le "Mirage" 4000 atteint la vitesse de Mach 1.6, et deux semaines plus tard la vitesse de Mach 2.2. Disposant d'un rapport poussée/poids bien supérieur à un, en mai 1979, l'avion atteignit Mach 1,9 à 50 000 pieds (15.240 mètres) 3 minutes 45 secondes après le lâcher des freins. De même la réserve de puissance était impressionnante : le plafond du "Mirage" 4000, sur un seul moteur et sans post-combustion, était de 30 000 pieds (9 100 m).

" La montée supersonique était remarquable, même avec les premiers réacteurs M53-2, rappelle Jean-Marie Saget. *Lors de l'une des premières démonstrations de temps de montée à 50 000 pieds et à Mach 1,8, l'avion s'est retrouvé à 61 000 pieds et à Mach 2, alors que la post-combustion avait été coupée et que je poussais sur*

le manche depuis le passage à 50 000 pieds ! Lors des vols suivants, je passais sur le dos dès 48 000 pieds pour arrêter la montée, en tirant à fond sur le manche dès que j'avais passé 50 000 pieds."

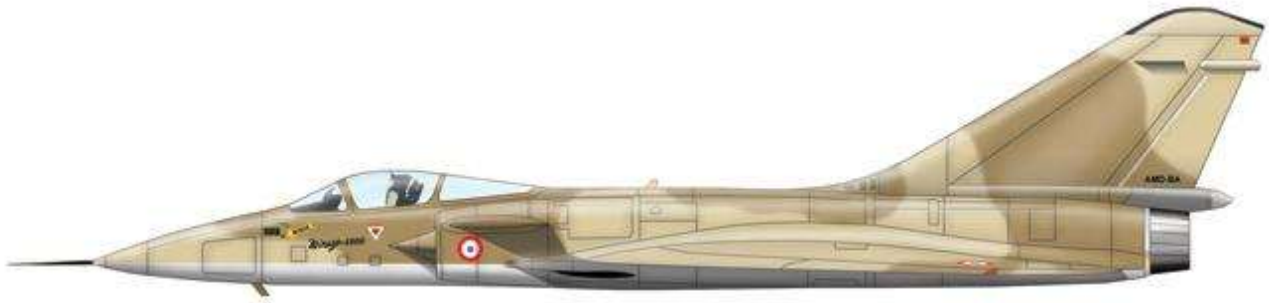
Plan trois vues du Super Mirage 4000 dans sa sa livrée "prestige Dassault" : blanc avec liserés bleu, blanc, rouge (et l'insigne d'escadrille de Jean Marie Saget, son pilote d'essais)

Le Mirage 4000 étant un projet maison, sans commande officielle, aucun moteur ne lui était alloué et il volait avec des M53 pris sur le programme du Mirage 2000, soit des M53-2, soit des M53-5. Entre août et octobre 1980, l'appareil fut équipé d'une nouvelle dérive en matériaux composites, et vola avec le 27 octobre de la même année. A cette époque, l'appareil avait déjà été présenté plusieurs fois à des délégations irakiennes qui se montraient intéressées, de même que le Shah d'Iran. Hélas, le début de la guerre Iran-Irak mit un terme au projet.

En 1983, aucune commande à l'export n'ayant été enregistrée et l'armée de l'air estimant cet appareil trop ambitieux, trop cher pour elle, jugea le Mirage 2000 plus adapté à ses besoins. Une présérie de cinq exemplaires fut évoquée, une escadrille expérimentale équipée de Mirage 4000 fut envisagée, voire même d'en faire le remplaçant des Mirage IV, mais aucune de ces idées ne fut concrétisée.

En 1983, il fut donc parqué en bout de piste à Istres, jusqu'en 1985. A cette époque, l'Arabie Saoudite, qui venait pourtant d'acheter 72 Tornado, manifesta de nouveau son intérêt pour le Mirage 4000. Au point d'envisager une commande de 100 exemplaires et de prendre l'industrialisation à sa charge. Les premiers exemplaires de série devaient être livrés en 1990. Parqué à l'extérieur pendant 2 ans, sa remise en état de vol de l'appareil fut très courte et les vols reprirent à la mi-décembre 1985. Début 1986, le cockpit fut modifié afin de loger un système de navigation et d'attaque. On envisageait également un radar Thomson-CSF " Cyrano 500 ", un dérivé plus puissant du RDM, équipé d'une antenne de 80 cm.

A l'origine, l'appareil était propulsé par une paire de M53-2 (5 500 kg à sec et 8 500 kg avec postcombustion), et quelques temps après, il recevait des M53-5 plus puissant, puis, à partir de mai 1987, à l'occasion du 280ème vol, des M53-P2 (6 560 kg à sec et 9 700 kg avec postcombustion). Cela ayant nécessité de modifier légèrement les entrées d'air. Dans cette configuration, le biréacteur était capable de voler pendant 18 minutes à Mach 2, une performance qui n'était auparavant qu'à la portée du Mirage IV. Il fut alors appelé simplement "Mirage 4000" et revêtit un camouflage de type désertique, lors du salon du Bourget 1987, toujours pour séduire l'Arabie Saoudite.

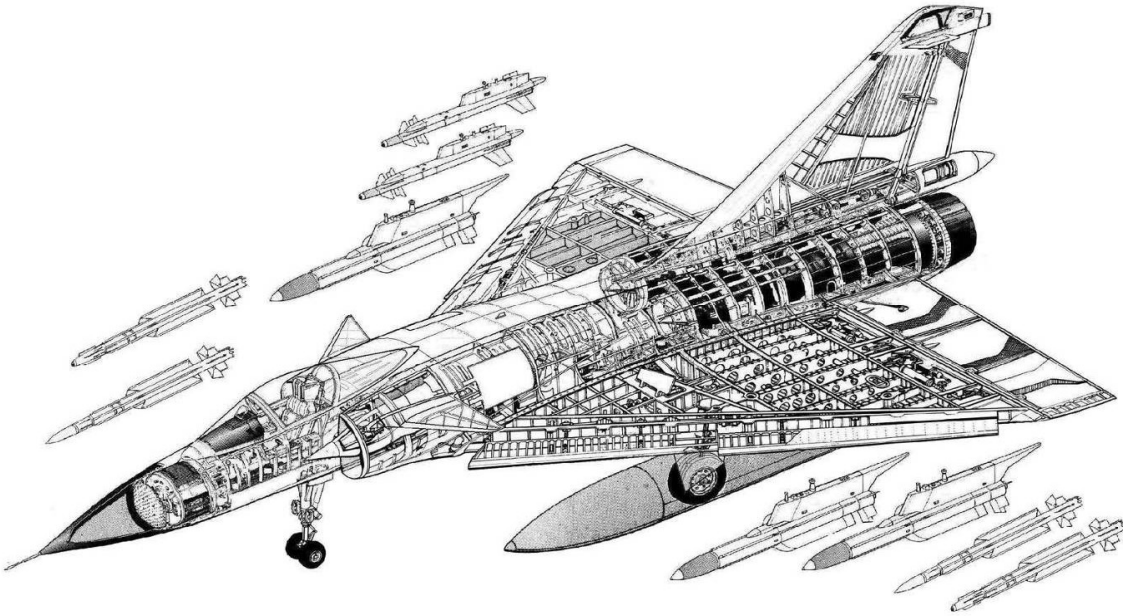


"Mirage" 4000 avec un camouflage de type désertique (1987)

Au début janvier 1988, après 336 vols et 350 heures de vol, l'unique prototype du Mirage 4000 fut stocké à Istres à l'extérieur. Il rejoignit le Musée de l'Air et de l'Espace du Bourget en 1992, pour y être exposé dix ans plus tard.

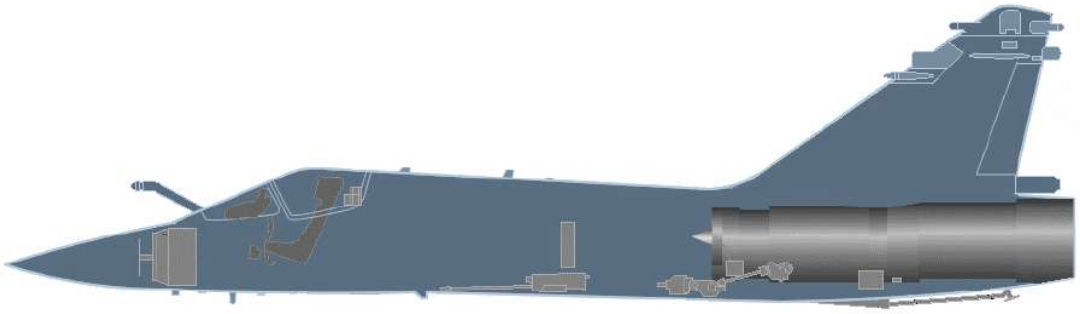
Ce prototype a permis de défricher et de valider certaines options aérodynamiques reprises sur le biréacteur supersonique Rafale : configuration biréacteur, formule delta-canard avec commandes de vol électriques. Si le Rafale est plus petit que son grand frère le Mirage 4000, il est plus performant dans bien des domaines, sauf peut-être celui de la vitesse pure.

Destiné à la supériorité aérienne et à l'attaque au sol, ses performances, sa manœuvrabilité et ses dimensions devaient positionner le Super Mirage 4000 comme concurrent direct du F-15 "Eagle" et du Su 27 "Flanker".



Ecorché Mirage 4000

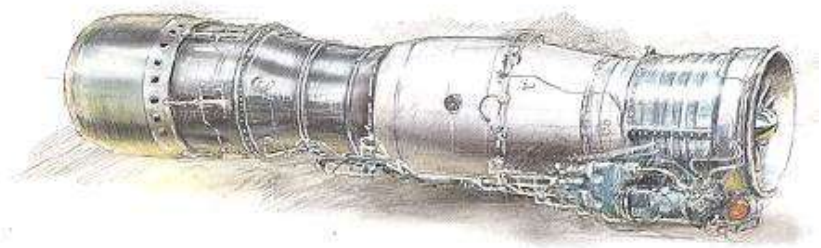
Variante	**Classe de poussée**	**Application**
M53-2	18,740 lb (83.35 kN)	Mirage 2000 (prototypes)
M53-5	19,850 lb (88.29 kN)	Mirage 4000
M53-P2	21,400 lb (95.18 kN)	Mirage 2000/2000 C
		Mirage 2000-5/-5F/-9
		Mirage 2000 N/-NK2/-D
		Mirage 4000 (moteur de remplacement)
M53-PX3	22,640 lb (100.7 kN)	Mirage 2000 Séries (rénovation)



Installation propulsive sur le Mirage 2000-9

Prospects. Au cours des années quatre-vingt-dix, le turboréacteur M53-P2 a fait l'objet d'une tentative de vente à la Chine populaire pour motoriser leur avion de combat JH-7A " Léopard volant ", un biplace biréacteur d'assaut maritime.

Une étude du motoriste concernant l'avionnage sur le JH-7A du M53-P2 démontra qu'il n'y aurait que des adaptations mineures à prévoir (suspensions et pièces d'effort). Avec ce propulseur l'appareil gagnait en vitesse maximale (Mach 1.8 au lieu de Mach 1.6) avec une manœuvrabilité sensiblement améliorée, un plafond accru de 10% et une distance de roulement au décollage réduite de 10%. La Snecma proposa même l'installation sur place d'une chaîne de production de M53-P2.



Rolls Royce Spey Mk 202

Mis en concurrence avec le Rolls Royce Spey Mk 202 de 9 305 kg de poussée avec rechauffe qui équipait les prototypes et les exemplaires de présérie, le motoriste français perdit finalement le marché.

Mirage F-2000 C RDI de la force aérienne brésilienne (2006 – décembre 2013).
En sept ans d'utilisation, les douze avions dont deux biplaces (ex-Armée de l'air) ont accumulé 10 462 heures de vol.